



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A110

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA DEL TEATRO COLÓN DE BUENOS AIRES

Ianina F. Canalis^(a),
Gustavo Basso^(b).

(a) Universidad Nacional de Lanús. Av. Salvador Ma. del Carril 3244. CP: 1419. Ciudad de Buenos Aires. Argentina. E-mail: ianicanalis@gmail.com

(b) Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata. Calle 5 N° 84, La Plata (1900), Argentina. E-mail: basso@isis.unlp.edu.ar

Abstract

The Acoustical quality of the Teatro Colón of Buenos Aires as a symphonic auditorium is analyzed through the theory proposed by Leo Beranek, who has compared the physical and perceptual parameters in a great number of halls. The Teatro Colón is situated, according to his study, among the best halls of the world.

Some discrepancies have been found out between the acoustical quality index and the perceptual judgements. This could lead to the necessity of refining the current tools used to determine the acoustical quality, especially in those cases which don't fit the usual typologies.

Resumen

En este trabajo se realiza una evaluación del Teatro Colón de Buenos Aires a partir de la teoría de calidad acústica para salas de música sinfónica propuesta por Leo Beranek. Dicho autor ha comparado los parámetros objetivos y las descripciones perceptuales en gran cantidad de teatros. De acuerdo a su estudio el Teatro Colón figura entre las mejores salas del mundo.

En el presente artículo se analizan los parámetros acústicos medidos en dicho teatro según la norma ISO 3382 para obtener el índice de calidad acústico que la teoría propone. De los análisis preliminares realizados se detecta una discrepancia significativa entre el índice de calidad obtenido y las valoraciones perceptuales, que podría sugerir la necesidad de refinar los instrumentos actuales de análisis acústico, en particular para determinar la calidad acústica de ciertas salas con características especiales o que no responden a las tipologías arquitectónicas esperadas.

1 Introducción

Diferentes investigadores como Beranek, Hidaka, Ando, etc., se han interesado por el estudio de la correlación entre las medidas objetivas y las valoraciones subjetivas dando lugar a un gran número de parámetros para la determinación de la calidad acústica de las salas de concierto. Yoichi Ando y Leo Beranek, dos grandes acústicos contemporáneos, desarrollaron modelos de calidad acústica en base a algunos de los parámetros acústicos existentes (Beranek, 1996; Ando, 1998).

Leo Beranek desarrolló una teoría para poder comparar la calidad acústica de diferentes salas según el tipo de música -música sinfónica, de cámara o de ópera-. Beranek realizó además un ranking de calidad acústica -a partir del juicio de músicos reconocidos- en el que el Teatro Colón se ubica en tercer lugar entre los teatros para música sinfónica y en primer lugar entre los de ópera.

El objetivo de este trabajo es estudiar y describir el modelo de calidad acústica desarrollado por Leo Beranek y luego aplicarlo al Teatro Colón en su función como sala para música sinfónica. Es decir, tomar y analizar los resultados de las últimas mediciones disponibles realizadas en dicho teatro -en función del modelo propuesto para salas de música sinfónica por Beranek- y calificar la misma desde un punto de vista objetivo a partir de su teoría. Emplearemos para ello las mediciones realizadas en 1998 bajo la norma ISO 3382 por investigadores del Takenaka Research & Development Institute de Chiba, Japón.

La pregunta a responder es, entonces: ¿Es capaz el modelo de calidad acústica elaborado por Beranek de dar cuenta del excelente comportamiento acústico del Teatro Colón como sala para música sinfónica?

2 Teatro Colón

El Teatro Colón de Buenos Aires se inauguró el 25 de mayo de 1908. Su construcción duró veinte años y pasó por las manos de tres arquitectos. El proyecto original del Arq. Tamburini se comenzó a construir en 1889. Al poco tiempo Tamburini fallece y continúa su tarea el Arq. Víctor Meano que incluye algunas modificaciones y actualizaciones al proyecto de su antecesor (ver en <http://www.teatrocolon.org.ar/>). A la muerte de Meano, en 1904, lo sucede el arquitecto belga Jules Dormal, quien concluye la obra.

En 1892, debido a las dudas surgidas acerca de la continuidad de la construcción del Teatro, Meano publica un trabajo a pedido de la Sociedad Científica Argentina en donde enuncia los principios básicos del proyecto y describe sus características generales. En la publicación incluye un capítulo al que denomina “Condiciones Acústicas” en el que sostiene: “Todos los autores que han tratado la acústica aplicada a la construcción de salas de espectáculos, están de acuerdo en declarar, que la resolución de tal problema, carece de bases sólidas y seguras”. Recomienda que las paredes y cielorasos cercanos a la fuente sean divergentes como los labios de una bocina y que no haya grandes superficies lisas a fin de evitar reflexiones indeseadas.

Meano hace hincapié en varias ocasiones acerca de no permitir que queden superficies grandes planas y sostiene que debe haber “dibujos calados y formados por pequeñas superficies curvas de posición variada y de forma tal que el sonido vaya a apagarse sobre ellas por medio de sucesivas reflexiones e inflexiones”. Esta cualidad agrega gran difusión de media y alta frecuencia en casi todas las superficies de la sala, generando una sensación de espacialidad excelente.

La sala del Teatro Colón tiene pisos de madera en la platea y en los palcos. En la platea la madera está cubierta en los pasillos de circulación y entre fila y fila con una alfombra mullida, dejando libre la superficie por debajo de las butacas, sucesión que genera un plano con una absorción pareja, pues si mirásemos la platea desde arriba sin las butacas veríamos una franja con madera y una con alfombra, una con madera y otra con alfombra, y así sucesivamente. Como en el resto de la sala, el material absorbente no está concentrado sino que está repartido. En los palcos bajos, balcón y altos hay cortinas de adorno que se distribuyen a lo largo de toda la curva del teatro, generando difusión por alternancia de los materiales que rodean la platea. Todos los bordes o filos, como barandas y divisiones de palcos, están tapizados con una tela muy similar a la de las butacas. En cazuela, tertulia y galería el piso es de material y las butacas están tapizadas con una cuerina poco absorbente.

El Teatro Colón está ubicado en una zona céntrica sumamente ruidosa. El ruido no afecta la sala principal por dos motivos: por las cualidades de masa, peso, etc. de los materiales con los que fue construido y por el hecho de que la sala principal está situada en el centro del edificio, rodeada del foyer, las galerías de acceso a los palcos y las oficinas que alejan la sala principal del exterior, interponiendo entre ellos importantes volúmenes de aire.

A principios de siglo el Teatro Colón tenía a su alrededor calles con adoquinado de madera, quizás para atenuar el ruido de los carruajes.

3 Investigación empírica de Beranek

En 1996 Leo Beranek publicó los resultados de una investigación (Beranek, 1996) realizada con directores de orquesta, críticos, músicos y oyentes aficionados de todo el mundo, con el fin de evaluar la calidad acústica de distintos auditorios para música sinfónica. Obtuvo un ranking en el cual las salas de concierto están ordenadas por su calidad acústica. Diseñó la investigación consultando a expertos sobre cómo hacer las preguntas y las entrevistas lo mas eficaces posibles. Elaboró diferentes cuestionarios a fin de no preguntar a una misma persona sobre las 58 salas. Es decir, estudió con ayuda de especialistas la manera de interrogar a las personas sobre diferentes salas para luego solapar o superponer las respuestas finales de tal manera que quede un solo ranking logrando que el resultado del trabajo sea representativo de la opinión de la mayoría. En dicho ranking el Teatro Colón obtuvo una excelente puntuación y quedó clasificado como el tercer mejor teatro de música sinfónica del mundo. A pesar de los nuevos y modernos teatros construidos desde 1900, sigue ocupando los primeros lugares en cuanto a calidad acústica.

3.1 Modelo de calidad acústica propuesto por Beranek

En el capítulo cuarto del libro “Concert Halls and Opera Houses”, Leo Beranek comenta, que según sus investigaciones, los tres mejores teatros del mundo se han hecho a fines del siglo XIX y se pregunta cuál de sus características comunes los hacen excelentes en cuanto a su calidad acústica, si es su forma, su tiempo de reverberación, su antigüedad, etc. A partir de la evaluación subjetiva (el ranking de calidad acústico) Beranek propone hacer un análisis de algunos parámetros acústicos y establecer los valores óptimos de cada uno de ellos en base a toda la información recolectada por él de más de 50 salas de concierto de todo el mundo. Comparó los valores subjetivos (encuestas, ranking) con los objetivos (resultados de mediciones), y elaboró una teoría en la que eligió algunos de los parámetros desarrollados hasta ese momento, seleccionando aquellos que eran independientes entre sí, y confeccionó una serie de tablas que permiten clasificar la calidad acústica de una sala a partir de resultados

objetivos, es decir, que brinda la posibilidad de prever con más certeza el comportamiento acústico que se obtendría de una sala que se encuentra en proyecto.

3.2 Valores preferidos para parámetros acústicos

En la Tabla 1 se muestran los valores que recomienda Leo Beranek para cada parámetro según el tipo de música que se ejecute.

Tabla 1. Valores preferidos para parámetros acústicos.

Modelo acústico de Beranek									
Condiciones: Tipo de música	TR Seg. ocupado	EDT Seg. desocup.	BQI	G_{Mid} dB	G_{125} dB	ITDG ms.	SDI	C_{80} dB	ST1 dB
Repertorio Sinfónico	1.8 a 2.1	2.2 a 2.6	0.65 a 0.71	1.5 a 5.5	3 a 6	<25	>0.8	-3 a 0	>-14
Música de cámara	1.6 a 1.8	1.9 a 2.3	0.7 a 0.76	9.0 a 13	9 a 13	<20	>0.8	-2 a 2	>-12
Opera	1.4 a 1.6	1.5 a 1.9	0.6 a 0.71	-1 a 2	-1.05 a 2.3	<23	>0.5	1 a 3	-

3.3 Índice de calidad acústica

En el libro “Concert Halls and opera houses: How they sound”, Beranek incluye un capítulo que explica como hallar un índice de calidad acústica de salas a fin de poder compararlas entre sí. Para ello, extrae seis parámetros independientes, a saber, IACC, ITDG (t_1), G_{mid} , EDT, BR (Bass ratio) y SDI y realiza unos cálculos que le permiten confexionar cuadros de doble entrada, donde el valor ideal de cada parámetro equivale a 0 y a medida que el mismo se aleja del intervalo ideal, toma números negativos. Veamos los cuadros de la figura 1 para entenderlo mejor. Por ejemplo, si la Sonoridad G_{mid} en una sala es igual a 0, según la curva del cuadro S_3 le corresponde el número -0,3 y si el EDT fuera de 1,8 según el cuadro S_4 le correspondería el -0,1. Una vez hallado los seis valores consecuentes a cada parámetro mencionado, el índice se obtiene haciendo la sumatoria de esos seis factores. Una sala de excelente calidad acústica se acercaría mucho a 0, una muy mala tomaría valores negativos.

Es importante destacar que en este índice de calidad acústica, Beranek toma el BR (bass ratio) como parámetro válido, debido a que necesita que los parámetros sean totalmente independientes uno del otro para poder aplicar esta teoría, razón por la que debe desestimar la sonoridad relativa en graves G_{125} .

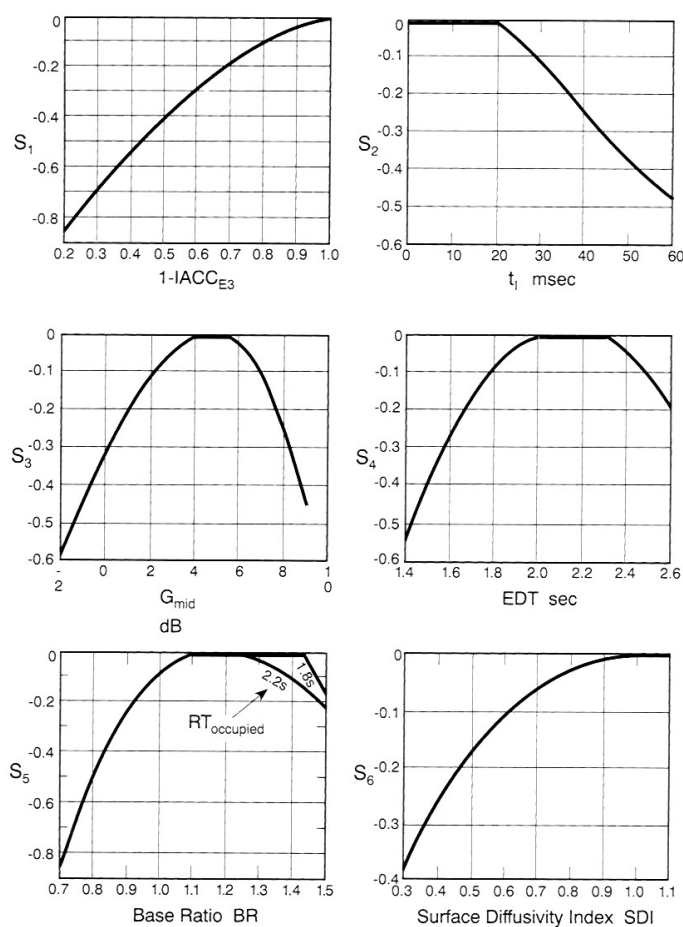
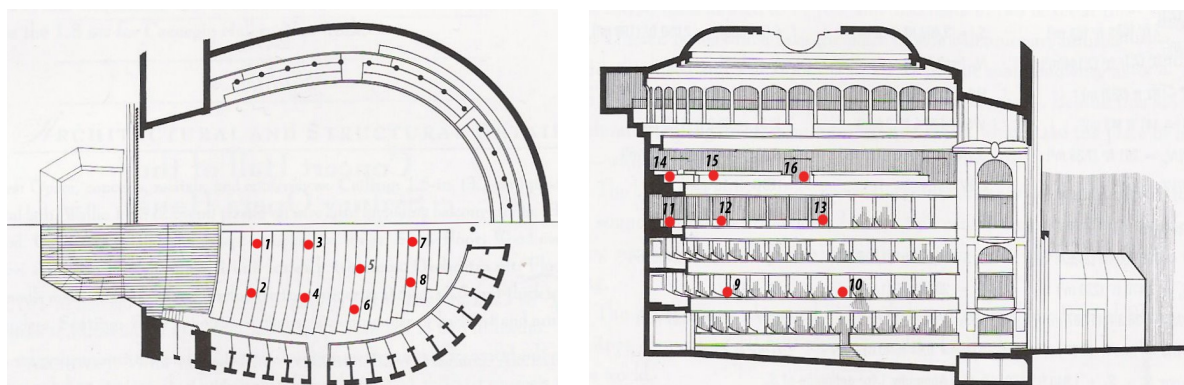


Figure 15.2. Charts for determining scale factors for the six orthogonal acoustical attributes that relate to the acoustical quality of concert halls.

Figura 1. Cuadro para establecer el índice de calidad de una sala (Beranek, 1996).

4 Mediciones acústicas en el teatro Colón

Las mediciones fueron realizadas el día 9 de julio de 1998 por investigadores del Takenaka Research & Development Institute de Chiba, Japón. Se publicaron el 25 de agosto de ese mismo año. El método de medición fue utilizado acorde a las normas UNE-EN-ISO 3382. Las posiciones de los micrófonos al momento de tomar las mediciones se pueden ver en la figura 2.

**Figura 2.** Posiciones de los micrófonos de medición.**Tabla 2.** Resultados de las mediciones.

Posición	TR (seg.)	EDT (seg)	BQI	G_{Mid} (dB)	G_{125} (dB)	ITDG ¹ (seg)	C_{80} (dB)
1 (11)	1,86	1,99	0,463	5,2	0,8	25,88	3,46
2 (12)	1,94	2,01	0,511	4,35	1	16,12	3,8
3 (101)	1,93	2,16	0,54	3,25	2	23,25	1,90
4 (14)	1,94	1,78	0,621	3,35	0,2	11,8	2,03
5 (102)	1,91	1,82	0,241	2,1	-0,1	16,15	-0,1
6 (16)	1,93	1,99	0,681	2,35	-1,3	9,82	1,63
7 (17)	1,90	1,51	0,885	2,85	-0,1	18,71	-0,16
8 (18)	1,90	1,43	0,764	3,65	1,8	11,78	2,6
9 (22)	1,88	1,37	0,613	1,7	1,4	10,18	1,06
10 (23)	1,92	1,74	0,611	1,85	1,6	8,84	2,23
11 (41)	1,88	1,15	0,773	2,75	0	16,23	2,33
12 (42)	1,91	1,62	0,667	1,25	-0,4	19,78	0,76
13 (43)	1,82	2,07	0,503	0,45	0,2	13,86	-1,76
14 (61)	1,88	1,55	0,658	2,6	2	17,8	1,3
15 (62)	1,87	1,75	0,668	1,35	0,9	15,76	-2,4
16 (63)	1,9	2,02	0,566	0,35	-1,9	4,92	-2,43
Promedio	1,898	1,745	0,610	2,46	0,5	15,05	1,01
SDI = 1; T1= -13,78							

¹ El ITDG está obtenido gráficamente de la respuesta al impulso conseguida por Takenaka, debido a que en dicho trabajo no está publicado el valor exacto del ITDG.

En la figura 3 se muestra la respuesta al impulso de la posición número tres con la fuente sobre el escenario y sin filtro. Como ya se ha comentado anteriormente, para una buena textura el ITDG debe ser más o menos de 20 milisegundos, en este caso es de 23,25 milisegundos y las reflexiones anteriores a los 80 milisegundos tienen que ser abundantes y uniformemente espaciadas como se ve en el gráfico.

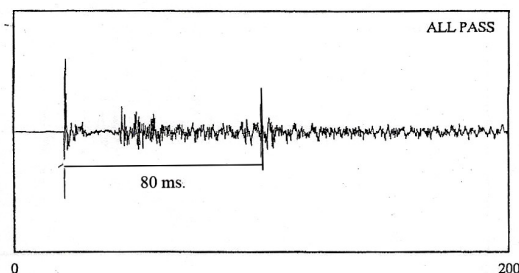


Figura 3. Respuesta al impulso posición 3 fuente sobre el escenario (Takenaka Research & Development I.)

Las mediciones mencionadas son las realizadas con la fuente sobre el escenario, debido a que todo el análisis que se está realizando es acerca de salas de concierto (orquesta sobre el escenario) y no sobre teatro de ópera donde la orquesta va al foso.

5 Obtención del índice de calidad acústica del Teatro Colón

Las mediciones promedio en la platea del Teatro Colón son las que se ven en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado de las mediciones en el Teatro Colón.

EDT Seg. desocup.	BQI 1-IACC _{E3}	G_{Mid} dB	BR	ITDG ms.	SDI
1,745	0,61	2,46	1,128	15,05	1

De acuerdo a la figura 1 se obtienen los siguientes valores del AQI de Beranek:

Para EDT = 1,745 \rightarrow -1.2

Para BQI = 0,61 \rightarrow -0.29

Para G_{mid} = 2,46 \rightarrow -0.5

Para BR = 1,128 \rightarrow 0

Para ITDG (t_1) = 15,05 \rightarrow 0

Para SDI = 1 \rightarrow 0

El índice de calidad es la sumatoria de todos estos valores:

$$AQI (\text{Teatro Colón}) = -1.2 - 0.29 - 0.5 + 0 + 0 + 0 = -1.99$$

El índice de calidad acústica para el Teatro Colón es de -1.99, que corresponde a una sala de calidad acústica media.

6 Comparación y contrastación

En las tablas 4 y 5 podemos observar y comparar los valores de los distintos parámetros surgidos de las mediciones del Teatro Colón y los intervalos propuestos para cada parámetro por Beranek para una sala de música sinfónica de calidad.

Tabla 4. Mediciones del Teatro Colón

Mediciones del Teatro Colón (promedio de todas las ubicaciones)									
Posición	TR (seg)	EDT (seg)	BQI	G_{Mid} (dB)	G_{125} (dB)	ITDG (ms.)	SDI	C_{80} (dB)	ST1 (dB)
Promedio	1,898	1,745	0,610	2,46	0,5	15,05	1	1,01	-13,78

Tabla 5. Modelo acústico de Beranek

Modelo acústico de Beranek									
Condiciones (música)	TR ocup.	EDT des.	BQI	G_{Mid}	G_{125}	ITDG	SDI	C_{80}	ST1
Repertorio Sinfónico	1.8 a 2.1	2.2 a 2.6	0.65 a 0.71	1.5 a 5.5	3 a 6	<25	>0.8	-3 a 0	>-14

En primer lugar el TR está dentro de los límites dados por Beranek y cumple con esos valores no solo en el promedio general sino en cada una de las posiciones en las que se midió (ver mediciones), aunque hay que tener en cuenta que el TR recomendado es con la sala ocupada y las mediciones se realizaron con la sala vacía.

En cambio, en oposición al TR, el EDT medido está por debajo de los límites en el promedio general y en todas las posiciones medidas.

El índice de calidad binaural (BQI) da por debajo del mínimo requerido.

El BQI obtenido de las mediciones da por debajo del mínimo sugerido por Beranek, lo que es extraño debido a la alta difusión que presenta el Teatro Colón.

La Sonoridad en frecuencias medias verifica los valores dados aunque no lo hace para la sonoridad relativa en 125 Hz.

El ITDG, el SDI y el ST1 están dentro de los límites indicados.

Por último, la C_{80} es superior a la señalada por Beranek. Un resultado esperable para un teatro lírico.

7 Conclusiones

Luego de haber estudiado la teoría de calidad acústica de Leo Beranek, estuvimos en condiciones de ponerla a prueba. Tal cual hemos visto, Beranek propone un modelo de calidad y explica la forma de hallar un índice de calidad acústica que permita comparar diferentes salas entre sí. Como ya se ha dicho anteriormente el Teatro Colón está considerado entre los tres primeros teatros de música sinfónica del mundo y primero entre los mejores teatros de ópera.

Al analizar los resultados de las mediciones del Teatro Colón con la teoría de Beranek, encontramos que, de los nueve parámetros establecidos, el Teatro Colón cumple solo con cinco de ellos de manera óptima. Como resultado obtiene un índice de -1.99 en una teoría de calidad acústica donde las mejores salas debieran dar 0. Estos datos nos indican una discrepancia que puede estar originada en dos motivos: por un lado las mediciones podrían no estar bien hechas o bien la teoría de calidad acústica desarrollada por Beranek no representa realmente la extraordinaria acústica de la sala. Es difícil que las mediciones estén mal hechas ya que en la publicación de las mismas se indica cómo fueron realizadas cumpliendo con la norma ISO 3382, además los investigadores del Takenaka Research & Development Institute de Chiba Japón poseen amplia experiencia y realizaron gran cantidad de mediciones similares por todo el mundo, muchas de ellas citadas por Beranek en sus trabajos.

La segunda alternativa contradice la hipótesis postulada al comienzo de nuestra investigación: El modelo de calidad acústica elaborado por Beranek puede dar cuenta del excelente comportamiento acústico del Teatro Colón. Aparentemente el modelo de calidad acústica elaborado por Beranek no da cuenta del excelente comportamiento acústico del Teatro Colón. Quizás parte del problema en la aplicación sea que la teoría de Beranek se desarrolló para auditorios para música sinfónica clásicos y no para teatros de ópera. El Teatro Colón es un teatro de ópera que se desempeña de forma brillante también en música sinfónica, y como tal su comportamiento es inusual. Esperamos contar con las nuevas mediciones que se están realizando actualmente en el Teatro Colón para poder repetir el análisis y las conclusiones expuestos en este trabajo.

Hallar que una teoría de calidad acústica hecha por una autoridad de la acústica como Leo Beranek no funciona adecuadamente en un caso particular, nos permite valorar la importancia de la preservación de las grandes salas del pasado que, como el Teatro Colón, encierran en sus paredes una acústica única e irrepetible.

Referencias

- Ando, Yoichi (1998) "Architectural acoustics" Ed. Springer. USA.
- Arau, Higini (1999) "ABC de la acústica arquitectónica". Ed. CEAC. España.
- Beranek, Leo (1996) "Concert Halls and opera houses: How they sound". USA.
- Beranek, Leo (2004) "Concert Halls and opera houses". Springer. USA.
- Beranek, Leo (1999) "Hidaka, Takayuki. Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas".
- Harris, Cyril (1995) "Manual de medidas acústicas y control de ruido". McGraw-Hill. España. 3ª ed.
- Meano, Víctor. (1892) "El nuevo Teatro Colón". Ángel Ferrari concesionario. Especificaciones y detalles de construcción y ornamentación. Cap.: Condiciones acústicas. Ed. Kraft. Bs. As. Argentina.
- Méndez, A., et al. (1994) "Acústica Arquitectónica". UMSA. Bs. As. Argentina.
- Roederer, Juan G., (1997) "Acústica y psicoacústica de la música". Ed. Ricordi. Bs. As. Argentina.